

ЛАЗЕРНЫЕ УСТАНОВКИ В СОВРЕМЕННЫХ СВАРОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ. ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ

Я. ПИЛЯРЧИК, проф., **М. БАНАСИК**, д-р философии, **Д. ДВОРАК**, магистр, **С. СТАНО**, д-р философии
(Ин-т сварки в Гливице, Польская Республика)

Представлен обзор научно-исследовательских работ по лазерной сварке, выполненных в Институте сварки Польши. Описаны оборудование и исследования, связанные с использованием гибридных процессов, а также особенности применения CO₂-лазеров и Nd:ИАГ лазеров в процессах сварки. Приведены примеры применения лазерных технологий в машиностроительной и автомобильной промышленности, а также при получении заготовок с заданными свойствами и трубчатых заготовок.

Ключевые слова: сварные конструкции, лазерные методы соединения, виды лазеров, гибридные технологии, штампованные и трубчатые заготовки, промышленное применение

Интенсивное использование лазерных технологий тесно связано с растущими требованиями к сварным конструкциям и качеству сварки. Лазерные технологии применяются для обработки материалов, используемых для изготовления различных классов конструкционных сталей, алюминиевых сплавов, пластмасс, текстильных тканей и т. д. Среди всех типов используемых технологических лазеров можно выделить CO₂, ИАГ, HPDL (ВМДЛ). Все большее распространение получают волоконные лазеры. Очень часто лазер является единственным доступным и незаменимым инструментом, способным удовлетворить технологические требования, продиктованные производителем современных промышленных изделий.

Сегодня разработка лазерных сварочных технологий тесно связана с фундаментальными исследованиями, а также необходимостью разработки и внедрения особых практических применений.

В области фундаментальных исследований большое внимание уделяется сварке гибридными способами, сварке со сканирующим пучком (дистанционной сварке), сварке с присадочным материалом или проверке свариваемости новых классов стали и других технологически усовершенствованных материалов. В случае с промышленным применением особый интерес, связанный с лазерными технологиями сварки, появляется у автомобильной и кораблестроительной промышленности, а также у производителей вагонов и представителей других секторов производства.

Несмотря на многочисленные преимущества, доступные компаниям, в особенности, относящимся к участку SME, процесс изменения технологии про-

изводства и замены классических технологий сварки лазерными способами часто сталкивается с рядом трудностей. К основным относятся опасность значительных инвестиционных обязательств и рисков, связанных с практическим внедрением современных технологий производства.

Одной из наиболее значительных задач, которую могут взять на себя научно-исследовательские организации, является помощь названным выше предприятиям адаптации современных технологий в промышленное производство, а также оказание помощи в разработке технологий и подготовке серий прототипа, которые будут использоваться во время испытаний и исследований. Польский Институт сварки намерен выполнить указанные выше задачи с помощью исследований и работ по внедрению в области лазерных технологий.

Статья описывает основные работы и научно-исследовательскую деятельность, посвященную применению лазерных технологий в производство и выполненную Институтом сварки за последние несколько лет.

На сегодня Институт сварки имеет две современные универсальные лазерные станции (рис. 1), которые соответствуют требованиям большинства промышленных применений.

Исследование гибридных способов. Исследование гибридных способов было посвящено применению и адаптации стандартных лазерных и дуговых блоков, а также газовых смесей к сварке. Научно-исследовательская работа включала использование алюминиевых сплавов и конструкционных сталей повышенной прочности (EN AW-6101 и EN-AW 5754). Для испытаний, связанных с исследованием, использовали лазерные блоки Института и стандартные современные источники, используемые для МИГ/МАГ и ТИГ сварки, такие как «Kemppi Pro Evolution», «Fronius» и «Aristo TIG». Для выполнения исследований было

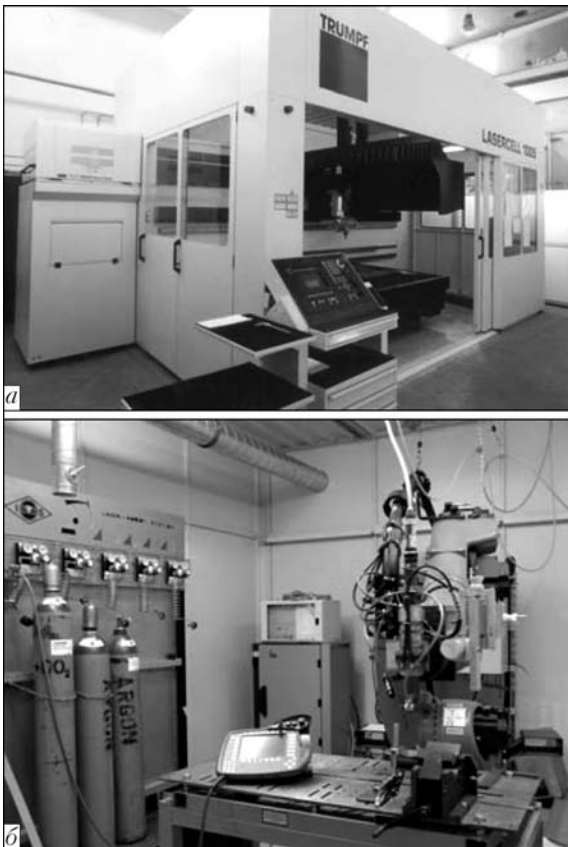


Рис. 1. Лазерные станции в Институте сварки: *а* — система Lasercell TLC 1005 с CO₂-лазером TLF 3800; *б* — ИАГ лазер HL 2006D/LCU с роботом KUKA KR 30/2 НА и сварочной головкой D70

необходимо разработать специальные механические и электрические системы, которые гарантировали бы точное размещение обоих источников тепла, и позволили подключение систем контроля устройства к источникам лазерной и дуговой сварки (рис. 2).

В представленной выше конфигурации оборудования гибридная лазерная сварка + МИГ/МАГ предлагает значительное увеличение эффективности сварки по сравнению с использованием только одного способа МИГ/МАГ, а также возможность выполнения стыкового соединения листов, подготовленных для сварки с зазором 1,2 мм (рис. 3, *а*). Испытательная станция для CO₂ лазерной-МИГ гибридной сварки: система — лазер — TLC 1005, TLF 3800, $f = 270$ мм + МИГ — «Kemppi Pro Evolution»; материал — S355J2, 5 мм; мощность лазера — 3800 Вт; $V_d = 4$ м/мин; защитный газ: МИГ — 50 % Ar + 50 % He, лазер — He (5,0). Видеозапись позволила оценить влияние на сварочный процесс различных газов, относящихся к МИГ/МАГ и защитных смесей, а также газов, подаваемых из дополнительного бокового сопла, что особенно важно в случае с гибридной сваркой с использованием CO₂-лазера. Выбор неподходящих защитных газов для гибридного способа CO₂-лазер + МИГ/МАГ (система:

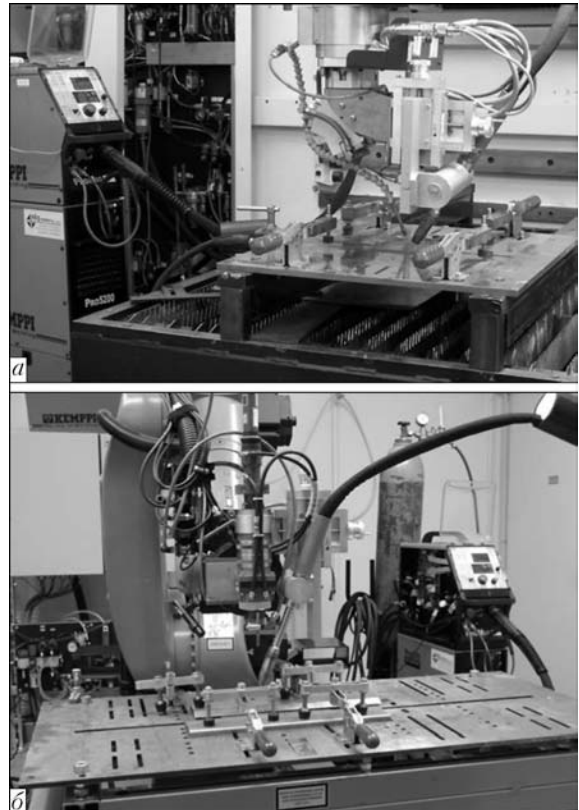


Рис. 2. Станции для испытания гибридных процессов: *а* — испытательная станция для CO₂-лазера + ТИГ/МИГ гибридной сварки. Система Lasercell TLC 1005 мощностью 3800 Вт, $f = 270$ мм + МАГ/МИГ «Kemppi Pro Evolution»; *б* — испытательная станция для ИАГ лазера + ТИГ/МИГ гибридной сварки. Система ИАГ лазер HL 2006D/LCU мощностью 2000 Вт, $f = 200$ мм + МИГ/МАГ «Kemppi Pro Evolution»

лазер — TLC 1005, TLF 3800, $f = 270$ мм + МИГ — «Kemppi Pro Evolution» (рис. 3, *б*)), может привести к отрыву плазменного облака, полностью блокирующего лазерное излучение. В случае с алюминиевыми сплавами гибридная лазерная + ИАГ/ТИГ сварка может быть выполнена при помощи ИАГ лазера мощностью 2 кВт и головки $f = 200$ мм. Применение лазерного+ТИГ метода для соединения листов различной толщины позволило получить высококачественные соединения и уменьшить количество технологических надрезов (испытательная станция для CO₂-лазерной + ТИГ гибридной сварки: система — TLC 1005, $f = 270$ мм + Aristo TIG; материал — электрогальванизированная сталь 0,7 + 1,5 мм. Процесс 1: гибридная сварка CO₂-лазером + ТИГ, лазер $P = 2200$ Вт; ТИГ: 150 А/15 В, защитный газ — аргон. Процесс 2: сварка CO₂-лазером мощностью 2200 Вт, защитный газ — гелий, рис. 3, *в*). Названную выше технологию использовали, среди других, для сварки заготовок с заданными свойствами.

Исследование лазерной сварки заготовок с заданными свойствами и трубчатых заготовок. Изготовление заготовок с заданными свойствами предполагает соединение (в основном при помощи лазерной сварки) различных листов, геомет-

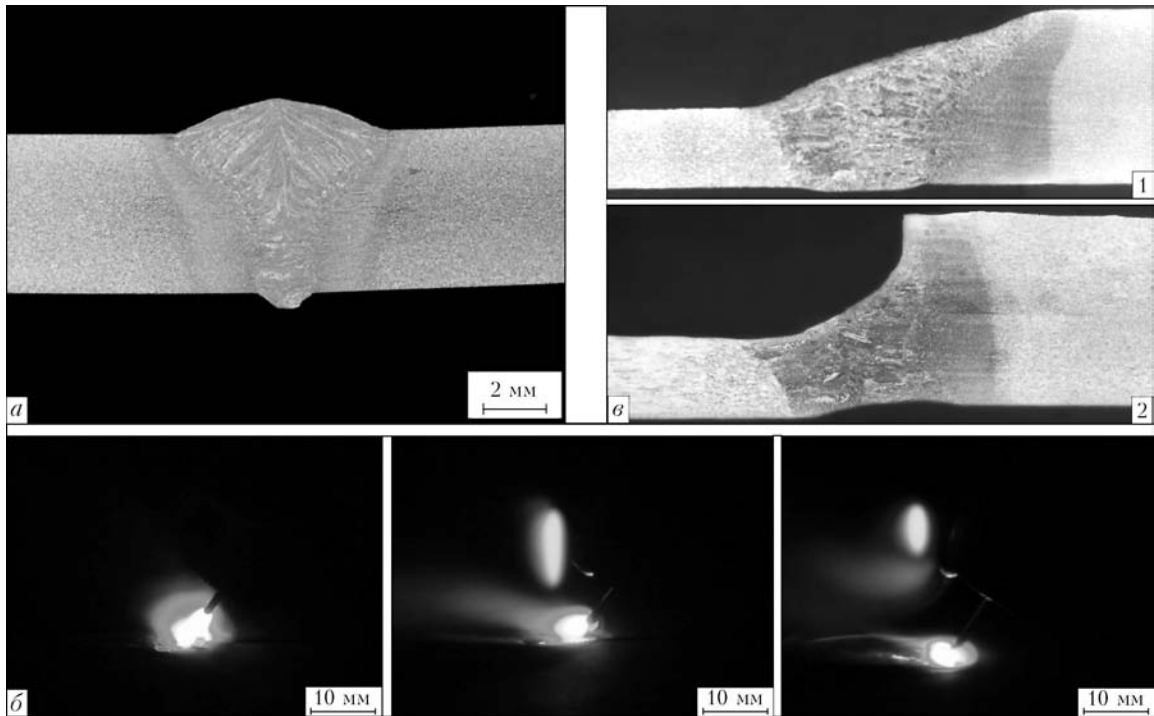


Рис. 3. Гибридная сварка CO₂-лазером + МИГ (а) и стабильная гибридная сварка CO₂-лазером + МИГ/МАГ с различными защитными газами (б) соответственно при частичной и полной блокировке лазерного пучка с помощью оторванного плазменного облака; в — гибридная сварка CO₂-лазером + ТИГ (обозначения 1, 2 см. в тексте)

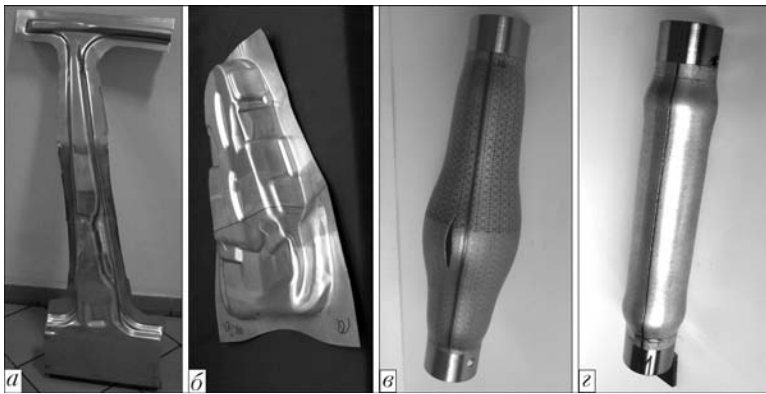


Рис. 4. Заготовки с заданными свойствами и трубчатые заготовки, сваренные лазером: а, б — система: Lasercell TLC 1005, $f = 270$ мм. Материал — H180LAD. FeE 275 F ZNT/7,5/2 с; стандарт: FIAT; лазер мощностью 3800 Вт, защитный газ — гелий; в, г — система: ИАГ лазер HL 2006D/LCU, $f = 200$ мм

рические и физические свойства которых выбираются на основании структурного и экономического анализа штампованных элементов. Такое решение позволяет изготавливать заготовки из различных классов стали, из листов различной толщины и пресс-формируемости, а также из листов с различным типом покрытий. Также можно использовать надлежащим образом подобранные полосы для подготовки заготовок с размерами, превышающими максимальный размер листа и подготавливать заготовки с технологическими отверстиями (рис. 4, а, б). Институт сварки совместно с Силезским технологическим университетом провел исследование лазерной сварки и пресс-формируемости таких заготовок.

Современные материалы, используемые в гидроформовке деталей кузова легкового автомобиля, также включают сваренные лазером трубчатые заготовки и заготовки с заданными свойствами. Внутренняя основа — жидкая выпуклость труб, сваренных лазером в закрытых штамповках, позволяет изготавливать детали сложной формы, которые используются для производства частей кузова автомобиля, ответственных за пассивную безопасность. Основные сложности при сварке таких конструкций определяются необходимостью изготовления точных и высококачественных швов, вызывающих минимальное удаление защитного покрытия (цинк) в области соединения, а также необходимостью получения соединения без дополнительных технологических надрезов и имеющих соответствующие характеристики прочности и пластичности при столкновении с трехосным напряжением во время процесса прессформовки.

Институт сварки применял ИАГ лазер мощностью 2000 Вт (защитный газ — аргон), используемый для лазерной сварки труб (1,5/45/300 мм), изготовленных из FE 450 DP (двойная фаза) сталей, H180BD+Z сталей, используемых при гидроформовке (рис. 4, в, г).

Промышленное применение. Применение лазера в соединении точных элементов при помощи

линейных и кольцевых/круговых швов. Лазерная сварка позволяет выполнять кольцевые и круговые швы с точно выбранной глубиной проплавления, маленькой шириной лицевой поверхности и корня, а также небольшой ЗТВ. Названный выше способ может использоваться для соединения точных элементов осевой симметрии, таких как диски, катушки, трубки, кольца, цилиндры и т. д. Он также может применяться для соединения деталей точными линейными швами (непрерывными и прерывистыми) и с помощью точечных швов.

Требования, которые касаются свойств сварных соединений, варьируются и существенно зависят от предположений проектировщика относительно операционной специфики данного элемента. Основные требования могут включать достаточную статическую прочность соединения (часто привязывается пользователем к соответствующей глубине проплавления или толщине шва), достаточную усталостную прочность или, например, минимальную возможную деформацию, возникающую после процесса сварки. Такие требования могут быть удовлетворены посредством гарантии достаточного провара соединений перед сваркой, точного ведения лазерного пучка вдоль заданной траектории и подходящего выбора параметров сварки. Отдельно от основных параметров сварки, таких как мощность излучения лазерного пучка и скорость сварки, важно определить влияние остальных параметров сварки, например, угол ввода и расположение фокуса лазерного пучка, изменение мощности лазерного пучка относительно траектории сварки, геометрических взаимосвязей системы лазерная головка — сварочный зажим, способ дуговой сварки в случае с гибридной сваркой, которые влияют на окончательный результат сварочного процесса. Выбранные параметры сварки должны проверяться относительно данного соединения для удовлетворения требованиям, указанным пользователем. Ниже представлены выбранные примеры технологии лазерной сварки, применяемой во время подготовки деталей промышленного производства, для которых Институт сварки разработал родственные технологии сварки.

Гидравлические губки деревообрабатывающих инструментов. Конструкция гидравлических губок из закаленно-отпущенной стали (рис. 5, а) включает концентрическое соединение нескольких рукавов таким образом, что между внутренними стенками детали может образоваться свободное пространство, через которое может проходить жидкое вещество под очень большим давлением. Деформация внутренних рукавов зажима приводит к ускорению последнего шпинделя станка. Технология лазерной сварки позволяет подготовить точные и плотные кольцевые швы

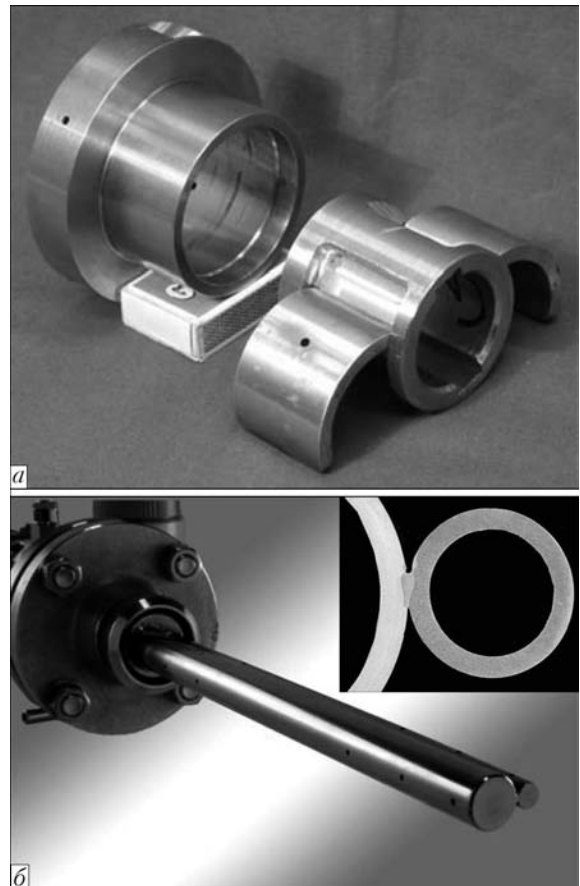


Рис. 5. Детали гидравлических губок: а — система TLC 1005, $f = 270$ мм; глубина шва 4 мм, лазер мощностью 3800 Вт, защитный газ — гелий и зонд для системы измерения расхода; б — система ИАГ лазер HL 2006D/LCU, $f = 200$ мм, датчик мощностью 1700 Вт, защитный газ — аргон

между отдельными составляющими зажима, переносящими очень высокое давление.

Детали системы измерения расхода вещества. Одной из основных деталей зондов (датчиков), используемых для измерения расхода летучих газов и чистых жидкостей в закрытых трубопроводных и выхлопных системах (каналы большого размера), является набор сварных труб, изготовленных из стали X2CrNi18-9 с надлежащим образом расположенными отверстиями.

Непрерывный шов или ряд прерывистых швов (рис. 5, б) должны соединять трубы (12/6/1200 мм + 25/6/1200 мм) вдоль точки касания цилиндра, образуя линии без сплавления со стенкой трубы или нарушения ее внутреннего диаметра. Все соединение должно быть достаточно прочным для того, чтобы трубы можно было разместить в заданном измерительном зонде. Во время процесса сварки необходимо минимизировать деформации сварного соединения и сохранить, насколько это возможно, прямолинейность сварных труб.

Выполнение соединения требует очень точного размещения лазерного пучка относительно точки касания формовочных труб, анализа деформации и напряжения всей конструкции и выбора

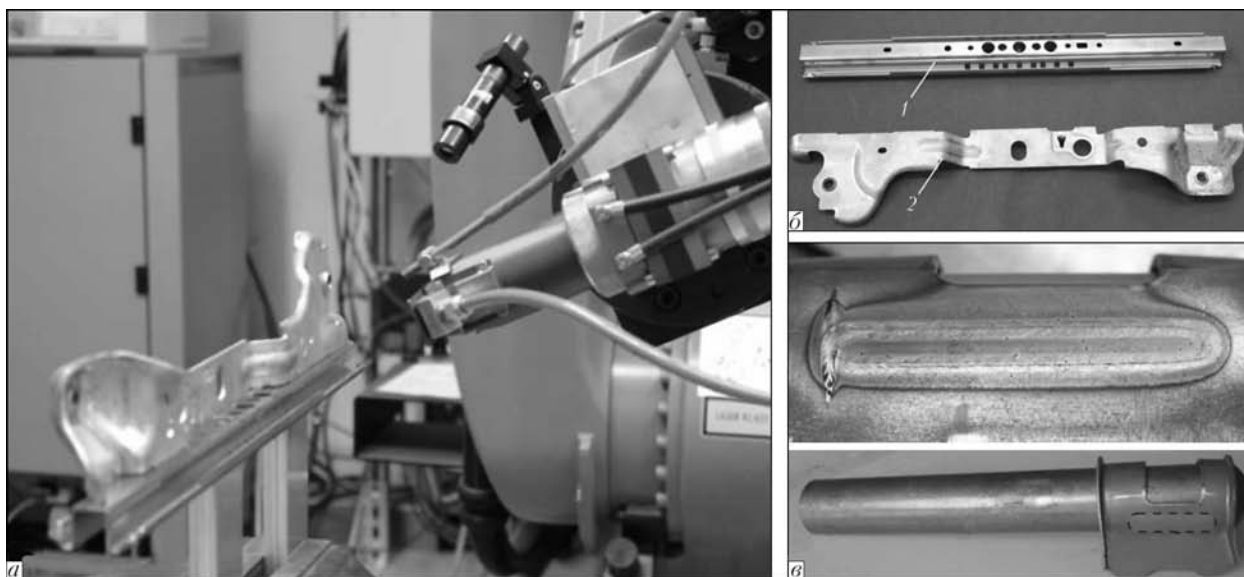


Рис. 6. Детали сидения автомобиля (материал S500MC, 0,8 + 1,5 мм), сваренные ИАГ лазером (а, б), и детали амортизатора, сваренные ИАГ лазером (в)

соответствующей последовательности выполнения односторонних и двусторонних швов. Использование ИАГ лазера и соответствующей последовательности разделения позволяет удовлетворить указанные выше требования.

ИАГ-лазер в автомобильной промышленности. Детали траверсы сидения автомобиля и телескопическое устройство передней подвески. Деталь траверсы сидения автомобиля состоит из двух компонентов: 1 — «входящая» часть, штампованная из листа H800LA толщиной 1,8 мм и крыла 2, выполненного из листа S500MC толщиной 2,5 мм (рис. 6, б). Оба компонента необходимо соединить таким образом, чтобы сохранить высокие значения предела прочности и очень высокие допуски перпендикулярности определенных поверхностей обоих компонентов. Сварка ИАГ лазером (система: ИАГ лазер HL 2006D/LCU с роботом KUKA KR30/2 HA, $f = 200$ мм, $P = 2000$ Вт, защитный газ — аргон) используемая в роботизированной станции (рис. 6, а) и поддержание соответствующей сварочной последовательности обеспечивает надлежащее соединение компонентов.

Детали амортизатора автомобиля. Конструкция амортизаторов автомобиля требует под-

соединения внешней амортизационной трубы диаметром 50 мм и толщиной стенки 2 мм, изготовленной из стали SAE, с зажимным кольцом из стали S355MC (рис. 6, в). Способ лазерной сварки (ИАГ 2006, $f = 200$ мм, мощность лазера 2000 Вт, защитный газ — аргон) может заменить МАГ технологию сварки, которая, как известно, способна вызывать значительные деформации и не может обеспечить необходимое качество соединения.

В заключение следует отметить, что лазерные технологии позволили внедрить новые, часто революционные, технические решения и инновации во многие отрасли промышленности, позволяя снизить общие производственные расходы. Возможность использования этих технологий сформировала новый подход к проектированию большинства сборочных узлов. Сегодня сотни различных типов лазеров используются в различных секторах промышленности. Научно-исследовательские центры большинства компаний оснащены современными лазерными системами. Институт сварки намерен продолжать исследовательские работы в этой области, оказывая поддержку отечественной промышленности в использовании названных технологий.

The paper contains a review of laser welding research works conducted at Instytut Spawalnictwa (Poland). It also presents the equipment and investigation related to the use of hybrid processes and describes application of two types of laser groups, i.e. CO₂- and Nd:YAG lasers, in welding processes providing examples on the use of these technologies in machine-building and automotive industries, as well as in welded tailored and tubular blanks.

Поступила в редакцию 20.03.2008